

Caracterización de válvulas

Práctica

Objetivos de la práctica

- Estudiar el funcionamiento de diferentes tipos de válvulas utilizadas para regular el caudal de un líquido.
- Determinar los parámetros característicos de las válvulas usadas.
- Analizar la influencia del régimen de circulación del fluido sobre los valores de dichos parámetros.

Fundamento teórico

Una válvula es un dispositivo que sirve para restringir o interrumpir el flujo de un fluido que circula por una conducción, lo que generalmente se traduce en una regulación de su caudal. La regulación de caudal se lleva a cabo en la válvula provocando una variación en la sección de paso libre del fluido. Según la velocidad con que se produzca esta variación de la sección de paso el objetivo que se persigue con este dispositivo se inclinará más hacia la restricción o hacia la interrupción. Según este criterio cabe distinguir tres tipos principales de válvulas que son las que asimismo se analizarán experimentalmente:

- Válvula de asiento (“*globe valve*”, **Figura 1**),: Tiene como objetivo regular el caudal, lo que se logra disminuyendo gradualmente la sección de paso mediante un asiento cónico dispuesto de tal forma que el fluido ha de cambiar de dirección varias veces.

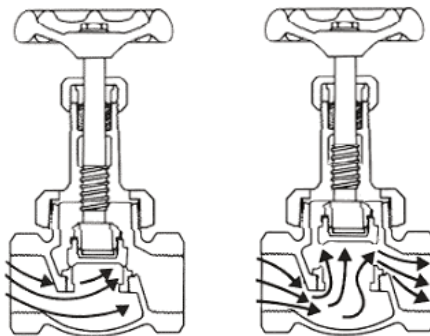


Figura 1: Válvula de asiento.

- Válvula de compuerta (“*gate valve*”, **Figura 2**): Tiene como objetivo interrumpir el paso del fluido, lo que se logra de forma bastante rápida introduciendo un disco en su trayectoria.

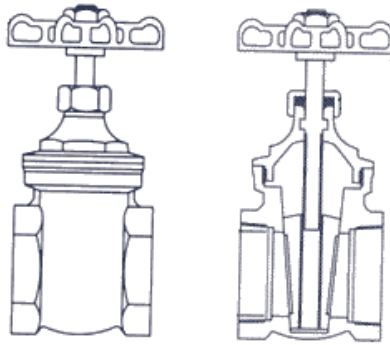


Figura 2: Válvula de compuerta.

- Válvula de bola (“*ball valve*”, **Figura 3**): Tiene como objetivo interrumpir el paso del fluido de forma casi instantánea, lo que se logra girando sólo 90° una esfera que dispone de un hueco cilíndrico alineado con el flujo.

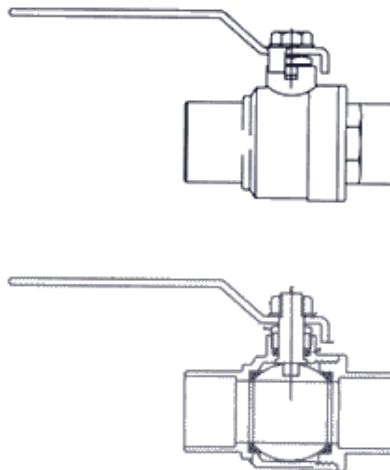


Figura 3: Válvula de bola.

Ahora bien, si la potencia de impulsión del fluido se mantiene constante, al producirse una contracción de la sección de paso libre del fluido por el cierre de la válvula, se originará un aumento de la caída de presión en su interior, o pérdida de carga, que dependerá del régimen de circulación del fluido, del grado de apertura de la válvula y de su propia disposición interna.

Si se aplica la ecuación de Bernuilli entre la salida (**S**) y la entrada (**E**) de la válvula, puede llegarse a:

$$-\Sigma F \left[\frac{J}{kg} \right] = \frac{P_S - P_E}{\rho} + (z_S - z_E) g + \frac{v_S^2 - v_E^2}{2 \alpha}$$

Generalmente se pueden considerar despreciables los términos potencial (la entrada y la salida están a la misma altura) y cinético (si las conducciones de entrada y salida tienen el mismo diámetro, las velocidades serán iguales), por lo que la ecuación anterior se simplifica a:

$$\Sigma F \left[\frac{J}{kg} \right] = - \frac{\Delta P}{\rho}$$

es decir, la caída de presión a través de la válvula es debida a la energía disipada por rozamiento en el interior de la misma.

La evaluación de la energía perdida por rozamiento generalmente se lleva a cabo mediante una expresión empírica, la denominada **ecuación de Fanning**:

$$\Sigma F \left[\frac{J}{kg} \right] = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2}$$

donde **v** es la velocidad del fluido, **L** y **D** la longitud y de diámetro de la conducción, respectivamente y **f** es el denominado *factor de rozamiento*, parámetro empírico que depende de las propiedades del fluido y de las características de la conducción, principalmente de su rugosidad.

En la práctica se evalúan las pérdidas por rozamiento en válvulas aplicando la ecuación de Fanning para obtener una longitud equivalente, **L_{eq}**, de la válvula (longitud de tubo recto del mismo diámetro que provoca la misma pérdida de carga que la válvula), es decir:

$$\Sigma F = f \frac{L_{eq}}{D} \frac{v^2}{2}$$

de donde:

$$L_{eq} = - \frac{\Delta P}{\rho} \frac{2 D}{f v^2}$$

siendo necesario para su cálculo conocer **f** a partir del denominado **gráfico de Moody**, en función de rugosidades relativas, que también será necesario conocer.

Para facilitar el cálculo es frecuente considerar que la pérdida de carga provocada por la válvula no es debida de forma importante al rozamiento con las

paredes, sino principalmente al introducido por los cambios de dirección del flujo, lo que permite simplificar la ecuación de Fanning para la válvula a:

$$\Sigma F = K \frac{v^2}{2}$$

de donde:

$$K = - \frac{\Delta P}{\rho} \frac{2}{v^2}$$

siendo **K** el denominado **coeficiente de la válvula** o “número de cargas de velocidad”, adimensional.

El coeficiente de la válvula puede ser determinado experimentalmente a partir de medidas de la pérdida de carga en la válvula al circular por ella un determinado caudal y estar dispuesta con un determinado grado de apertura.

La dependencia del caudal se expresará mediante el **número de Reynolds**, definido como:

$$Re = \frac{v \rho D}{\mu} = \frac{4 \rho Q}{\pi \mu D}$$

Por su parte, el grado de apertura de la válvula, α , se definirá como:

$$\alpha = \frac{\text{Ángulo de apertura}}{\text{Ángulo de apertura total}}$$

Es decir, podrán obtenerse relaciones entre el coeficiente **K** y el número de Reynolds, el tipo de válvula y su grado de apertura para caracterizar el comportamiento de una válvula.

Dispositivo experimental

El sistema en estudio dispone de tres válvulas de prueba conectadas en paralelo en sendas ramas de tubería de **22 mm** nominales: válvula de asiento, válvula de compuerta y válvula de bola (**Figura 4**).

Para medir la pérdida de presión a través de la válvula en estudio (una, cada vez) se han dispuesto dos tomas de presión, antes y después del accidente, conectadas a las ramas de un manómetro de agua y otro de mercurio, cuyo uso se alterna, según las necesidades de la medida, dando acceso a las tomas del manómetro de agua mediante las llaves instaladas al efecto.

El caudal se regula mediante dos válvulas situadas en paralelo a la entrada del sistema de válvulas de prueba, una principal, de mayor sección, y otra de ajuste fino. La medida del caudal se lleva a cabo con ayuda de un contador mecánico de paletas situado a la salida del sistema y un cronómetro.

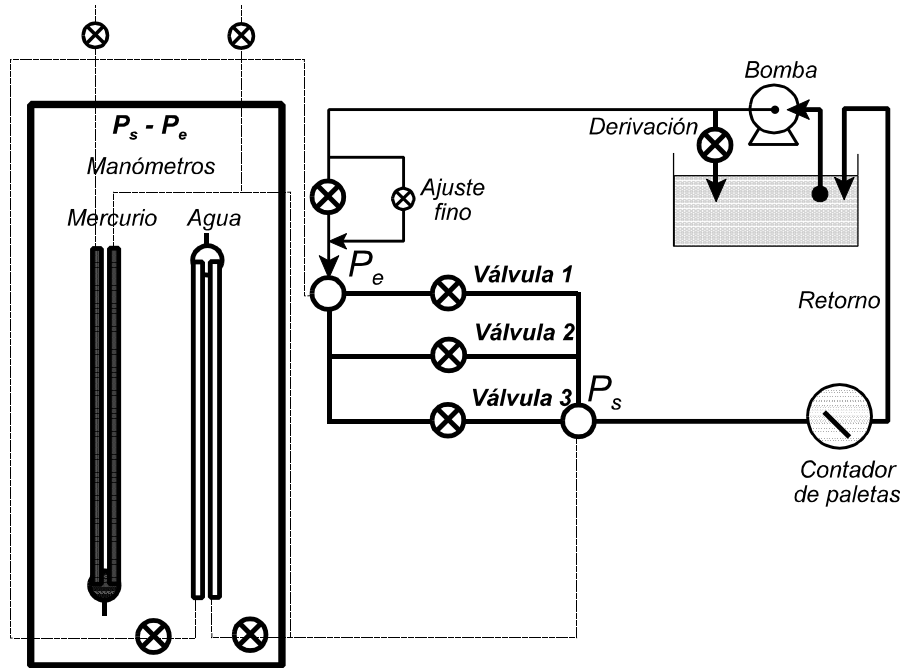


Figura 4: Esquema de la instalación.

Todo el sistema opera en circuito cerrado a partir de un tanque de unos 300 litros de capacidad, lleno de agua. Una bomba centrífuga aspira el agua del tanque, al que vuelve de nuevo el agua una vez medido su caudal. A la salida de la bomba se ha realizado una derivación del flujo que permite evitar choques de presión en la puesta en marcha de la bomba y, por tanto, distorsiones en las columnas de los líquidos manométricos.

Realización práctica

Determinar el ángulo de apertura total de cada una de las válvulas, sin poner en marcha la bomba, comprobando que una vez realizada esta medida, todas las válvulas queden totalmente cerradas, al igual que las dos válvulas de regulación del caudal.

Por otra parte, comprobar que las tomas de presión están conectadas sólo a las ramas del manómetro de mercurio y que la llave de derivación a la salida de la bomba

está totalmente abierta.

Seleccionar la válvula que va a ser estudiada y darle un grado de apertura del **25%** (obsérvese que para mantener la coherencia de las medidas habrá que considerar que cada vuelta completa que se gire la válvula acumulará a su ángulo de apertura un ángulo de 360°).

Conectar la bomba y abrir cuidadosamente la llave de regulación del caudal para evitar que se produzcan golpes de presión en el manómetro de mercurio. Cerrar parcialmente la rama de derivación para conseguir mayor presión. Mediante las válvulas de regulación del caudal mantener la máxima pérdida de presión a través de la válvula en estudio (nunca superior a **50 cm de Hg**). Cuando la pérdida de presión sea estable, se podrá medir el caudal de agua que está circulando en esas condiciones a través del sistema midiendo el tiempo en el que pasa un volumen de agua determinado a través del contador correspondiente.

Una vez realizadas las medidas de ΔP y $Q = V/t$, disminuir el caudal para obtener una nueva pérdida de presión repitiendo todo el procedimiento a intervalos de unos **10 cm de Hg** de caída de presión. Cuando ésta sea inferior a **5 cm de Hg** se conmutará cuidadosamente al manómetro de agua, realizando ahora medidas a intervalos de **10 cm de agua** hasta una altura mínima de unos **5 cm de agua**. Una vez tomada la última medida, se conmuta la toma de presión de nuevo hacia el manómetro de mercurio.

Completado este ciclo de medidas, se abrirá la válvula hasta un grado de apertura del **50%**, reiterando todo el procedimiento descrito y llevándolo a cabo también para grados de apertura de **75%** y de **100%**.

Finalizado el estudio de una válvula se cerrará ésta y las de regulación del caudal, abriendo la derivación de la bomba y comprobando que las tomas de presión están conectadas al manómetro de mercurio. Se procederá análogamente con el estudio de las otras dos válvulas, en su caso, y se finalizará el estudio experimental desconectando la bomba.

Datos complementarios

Puede realizarse un análisis visual del interior de las válvulas, desmontando las así dispuestas para ello, idénticas a las usadas en la instalación.

Con ayuda de un calibrador se determinará el **diámetro interno** de la tubería utilizada, haciendo uso de la muestra disponible para tal fin.

Recuérdese que en un manómetro el correspondiente balance de fuerzas (expresado en presiones) permite poner (**Figura 5**):

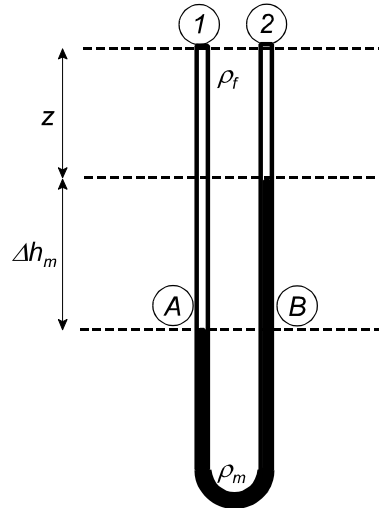


Figura 5: Balance de fuerzas en un manómetro.

$$P_A = P_1 + \rho_f g z + \rho_f g \Delta h_m$$

$$P_B = P_2 + \rho_f g z + \rho_m g \Delta h_m$$

En el equilibrio, **A** y **B** soportarán la misma presión, es decir:

$$P_1 + \rho_f g \Delta h_m = P_2 + \rho_m g \Delta h_m$$

y, por tanto:

$$P_1 - P_2 \left[\frac{N}{m^2} \right] = (\rho_m - \rho_f) \left[\frac{kg}{m^3} \right] g \left[\frac{m}{s^2} \right] \Delta h_m [m]$$

$$\rho_{\text{agua}} = 10 \text{ g/cm}^3 = 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\mu_{\text{agua}} = 1 \text{ cp} = 10^{-3} \text{ kg/(m}\cdot\text{s)}$$

$$\rho_{\text{Hg}} = 13,6 \text{ g/cm}^3 = 13.600 \text{ kg/m}^3$$

$$1 \text{ pascal} = 1 \text{ N/m}^2 = 10^{-5} \text{ bar} = 7,5 \cdot 10^{-3} \text{ mm Hg} = 0,01 \text{ cm agua}$$

Presentación de los resultados

1. Elegir una de las válvulas para su estudio. Los siguientes apartados se referirán a la válvula elegida.
2. Con el sistema en reposo, determinar el ángulo correspondiente al grado de apertura total de la válvula.
3. Obtener para los grados de apertura indicados, las pérdidas de carga para todo el intervalo de caudales empleado, determinando asimismo los respectivos números de Reynolds.
4. Linealizar la ecuación que define el coeficiente de la válvula en función de las variables medibles o calculables. Si la representación de los correspondientes valores obtenidos experimentalmente se ajusta al modelo lineal, obtener **K** para cada grado de apertura. ¿Puede observarse alguna relación con el número de Reynolds?
5. Tabular los valores del coeficiente **K** junto al grado de apertura, con objeto de proceder al análisis cuantitativo de estas variables.
6. Los datos muestran que **K** debe depender inversamente del grado de apertura, por lo que cabe buscar una función del tipo:

$$\frac{1}{K} = b \alpha$$

que satisface las condiciones límite del sistema:

$$\begin{array}{ll} \alpha = 0 \text{ (válvula cerrada)} & K \rightarrow \infty \\ \alpha = 1 \text{ (válvula abierta)} & K = K_1 \end{array}$$

7. Representar para cada válvula los valores inversos del coeficiente frente al grado de apertura. ¿Siguen los datos una relación lineal? Si es así, obtener la ecuación que relaciona ambas variables.
8. Si la relación entre las variables indicadas no es lineal, establecer el intervalo de linealidad según el grado de apertura de la válvula. Si se tiene en cuenta el dato del coeficiente de la válvula totalmente abierta (**K**₁), ¿cómo podría delimitarse el intervalo de linealidad y qué significado físico tendría el valor obtenido para el grado de apertura de la válvula?

Bibliografía

- Agreda, E.; “Parámetros para caracterizar el funcionamiento de una válvula”, Trabajo de Licenciatura, Dpto. de Química Técnica, Universidad de La Laguna, La Laguna (1973).
- Mataix, C.; “Mecánica de fluidos y máquinas hidráulicas”, 2ª ed., Ediciones del Castillo, Madrid (1997).